

## ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 678.073.002

Бухкало С.И.

## ВОЗМОЖНОСТИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АГЛОМЕРИРОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Производство полимерных материалов ежегодно увеличивается, в основном, за счет расширения областей их применения. Это, прежде всего, упаковка (табл.1), что связано с достаточно высокими механическими и эксплуатационными свойствами полимеров, а также с возможностью длительного хранения пищевых продуктов с сохранением их свойств и без посторонних воздействий [1-3].

Таблица 1 – Динамика рынка основных видов полимеров в 2004 году на Украине

Полимер	Полиэтилен	Поливинилхлорид	Полиэтилентерефталат	Полистирол
Рост объёма потребления, %	5	24	26	34

Большую долю рынка полимерных изделий составляют полимерные трубопроводы различного назначения – водоснабжение, отопление, канализация, подача горючих газов и оснастка к ним – арматура сантехнического назначения, а также другие виды инженерных сетей. Всё это, в свою очередь, приводит к росту количества полимерных отходов и их накоплению в среде обитания человека.

Интересно отметить тот факт, что наращивание темпов выпуска полимерных изделий происходит при практическом отсутствии украинского рынка производства полимерного сырья, что и обуславливает специфическую структуру затрат на производстве (рис.1).

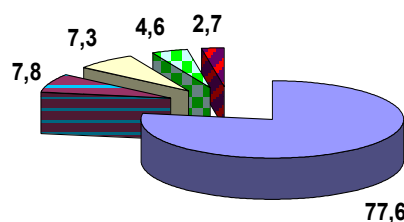


Рисунок 1 – Распределение затрат при производстве полимеров, %:  
 77,6 – материальные затраты; 7,8 – оплата труда; 7,3 – иные операционные затраты;  
 4,6 – амортизация; 2,7 – отчисления на социальные мероприятия

Следует отметить, что вопросы организации сбора и переработки даже упаковочных полимерных материалов решаются очень медленно. В странах СНГ отсутствует правовой статус упаковки и, тем более – упаковочных отходов. И это происходит в то время, когда закон должен способствовать развитию новой отрасли – отрасли полимерной упаковки и, следовательно – производства полимеров.

Несмотря на существенные недостатки в организации сбора полимерных изделий вышедших из эксплуатации, повторная переработка их в изделия наращивает темпы. Прежде всего это касается полимерных изделий сохранивших в процессе эксплуа-

тации свои исходные качества и не содержащих других материалов (полимеров в том числе) [4]. Однако, полимерные изделия, эксплуатировавшиеся в жестких условиях, например пленка сельскохозяйственного назначения, требуют введения модифицирующих добавок в процессе повторной переработки.

Модификацию изношенных полимеров возможно осуществлять в процессе их переработки сухим смешением компонентов с последующей агломерацией или грануляцией предварительно подготовленных отходов [2]. Для модификации используют очищенный от загрязнений полимер различной продолжительности эксплуатации после стадии измельчения, отмывки и отжима. Возможно два основных процесса получения вторичных полимерных материалов в этом случае – агломерация и грануляция, что обуславливает основные технологические приёмы и методы введения модификаторов.

В случае получения агломерированного вторичного полиэтилена в роторных аппаратах модификатор вводится после завершения стадии сушки в начале стадии агломерации. При этом он располагается на подплавленной поверхности частиц пленки, равномерно распределяется на поверхности частиц агломерата, не образуя пылевидной фракции. Такой способ введения модификатора обеспечивает наиболее равномерное его распределение и достаточно высокое качество перерабатываемого материала.

В случае получения гранулированного вторичного полиэтилена и переработки отходов и вторичных материалов в изделия методом экструзии или литья под давлением модификатор может быть введен в промежуточную емкость, в которой осуществляется перемешивание и усреднение сырья и модификатора.

Технологические процессы переработки (рис.2) включают в себя стадию предварительной подготовки, заключающейся в измельчении и очистке сырья.

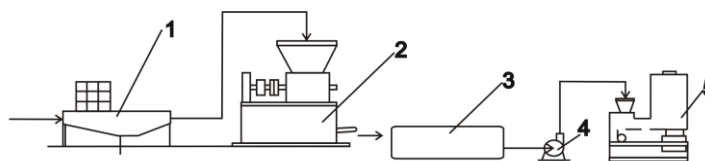


Рисунок 2 – Технологическая схема предварительной подготовки отходов:

1 – стол разборки сырья; 2 – установка для предварительного измельчения пленки; 3 – ванна;  
4 – пневмотранспорт; 5 – установка для непрерывной отмывки

Затем материал поступает в роторный агломератор, который является емкостным аппаратом, на котором, одновременно осуществляются стадии дробления, отмывки, сушки и агломерации пленочных отходов.

В том случае, если загружается не дробленое полотно, процесс ведется по определенному графику (рис. 3), предусматривающему быструю подачу материала на первых минутах так, чтобы на последних минутах скорость загрузки не менее, чем в два раза превосходила производительность аппарата.

Аппарат представляет собой вертикально расположенный цилиндр с лопастной мешалкой, включающей в себя режущие рабочие органы. Аппарат имеет вентиляционное устройство с боковым отводом воздуха. Мешалка имеет привод от мощного электродвигателя, расположенного на общем основании с основным аппаратом. Режущим рабочим органом агломератора являются ножи, установленные на лопастях мешалки. При быстром вращении ножи измельчают материал, а непрерывно подаваемая вода, одновременно, осуществляет отмывку. Такой метод совмещения дробления и отмывки снижает остаточную загрязненность материала до 0,15 %, так как отмывка происходит в течение всего времени дробления материала.

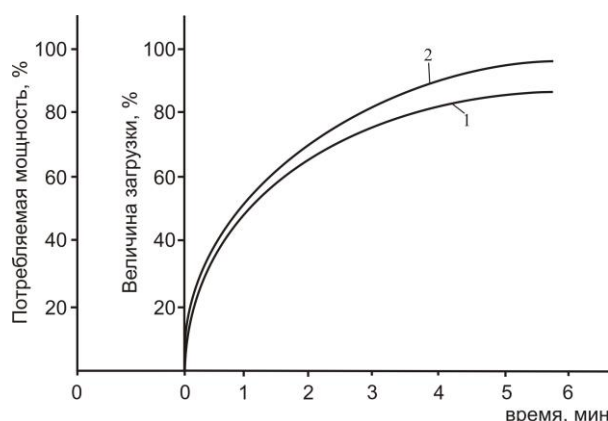


Рисунок 3 – Распределение загрузки полимера в виде полотнищ (1) и потребляемой мощности агломератора (2) во времени

Длительность сушки определяется влажностью материала и потребляемой мощностью. Целесообразно использовать по возможности менее влажный материал при наиболее полной загрузке аппарата. Часть энергии затрачивается на разогрев материала путем трения. Если перед агломерацией, вводить в систему вещества снижающие адгезию частиц материала, например, жидкость ГКЖ-94, получается агломерат более равномерного гранулометрического состава. Введение в качестве антифрикционной добавки силиконовой жидкости ГКЖ-94 уменьшает потери на трение и расход мощности в два раза.

Скорость разогрева и сушки зависят также от геометрии рабочих органов и степени заточки ножей (рис. 4), а именно от длины лопасти, угловой скорости перемешивания материала, высоты его слоя в агломераторе и угла атаки ножей.

Кривые зависимости потребляемой мощности и общей продолжительности работы агломератора от дисперсности измельченного материала (рис. 5), определяемой диаметром калибрующей решетки измельчителя показывают, что увеличение размеров частиц приводит к росту потребляемой мощности, расходуемой, главным образом, на преодоление трения.

Стадия агломерации начинается тогда, когда температура материала достигает области вынужденной пластичности. В этом отношении большое значение имеет изменение показателя текучести расплава от нагрузки. Лучше всего агломерируется полиэтилен, хуже - полипропилен, образующий кусочки размерами от 0,5 до 20 мм рыхлой структуры. Полистирол образует крупные слипшиеся куски. Размер частиц агломерата полиэтилена определяется степенью дробления пленки.

Значительный интерес представляет математическое моделирование процесса агломерации. Такое моделирование необходимо для выбора размеров аппарата заданной производительности и оптимизации условий агломерации.

На основании аналогии работы агломератора при переработке пленки термопластов и работы мешалки с вертикальным валом [5], могут быть получены следующие выражения необходимого усилия на агломераторе:

$$P = C \cdot \rho_n \cdot R_y \cdot w^{1,2} \cdot L^{2,3} \cdot (B \cdot \sin \alpha)^{0,82} \cdot H^{1,04}, \quad (1)$$

где  $C$  – коэффициент сопротивления;  $R_y$  – коэффициент разрыхления;  $\rho_n$  – насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $B, L$  – ширина и длина лопасти в м;  $\alpha$  – угол атаки, град;  $H$  – высота слоя материала над лопастью.

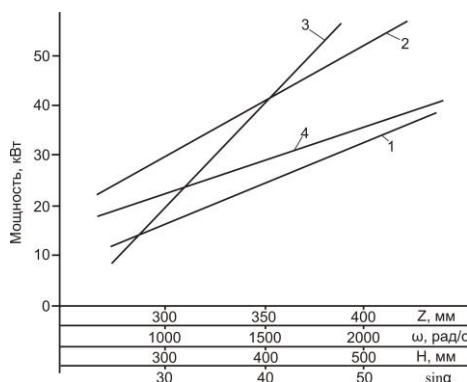


Рисунок 4 – Изменение потребляемой мощности при агломерации в зависимости от длины лопасти Z (1), угловой скорости перемешивания  $\omega$  (2), высоты слоя материала H (3) и угла атаки ножей  $\sin \alpha$  (4)

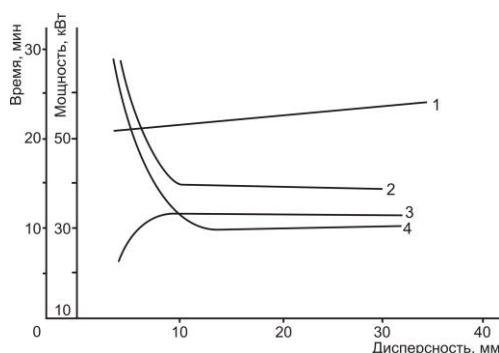


Рисунок 5 – Изменение потребляемой мощности (1 и 3) и общей продолжительности работы агломератора (2 и 4) в зависимости от дисперсности измельченного материала: 1 – мощность на стадии отмывки; 2 – длина лопасти постоянна; 3 – мощность на стадии сушки; 4 – высота слоя материала постоянна

Так как, необходимая мощность ( $N$ , кг/сек) является функцией объема материала, его плотности, коэффициента разрыхления, диаметра агломератора, высоты слоя материала и угла атаки лопатки, получено следующее соотношение:

$$N = C \cdot R_y \cdot \rho_n \cdot w^{1,23} \cdot d^{2,78} \cdot (B \cdot \sin \alpha)^{0,65} \cdot H^{2,2}, \quad (2)$$

Пользуясь этим соотношением, можно рассчитать мощность, необходимую для агломератора диаметром от 300 до 1200 мм, полагая, что:

$$N = f(G), \quad (3)$$

где  $G$  – производительность аппарата.

В первом приближении эта функция – линейная. Имеющийся опыт эксплуатации роторных агломераторов диаметром 500, 900 и 1000 мм подтверждает, в известных пределах, линейный характер этой зависимости.

Для моделирования процесса и исследования возможности использования полученных зависимостей для агломераторов различных размеров, необходимо изучить механизм взаимодействия рабочих органов с перерабатываемым материалом в конкретных условиях. Нами исследовалась агломерация, со всеми предварительными процессами отработанной полиэтиленовой пленки сельскохозяйственного назначения, дробленой на сетке с диаметром отверстий 8 мм. Опыты проводились на агломераторе с

диаметром рабочей камеры 500 мм. Исследовались условия потребления мощности взаимодействующей системой материал – рабочие органы агломератора, поскольку все операции определяются величиной потребляемой мощности.

На эту величину могут влиять следующие факторы: свойства измельченного материала (в том числе насыпная плотность, коэффициент трения, гранулометрический состав, форма частиц) и конструкция рабочих органов машины.

Проведенные работы позволяют установить зависимость потребляемой мощности от характеристики материала (диаметра частиц и насыпной плотности), а также от конструкции аппарата. Так, уменьшение зазора между стенкой и лопастями, почти линейно повышает значение потребляемой мощности.

Вместе с тем не полностью подтверждается вывод о постоянстве отношения  $N/G$  для разных величин производительности. Это отношение колеблется от 3 до 4, хотя и незначительно, но все же колеблется. Увеличение кажущейся плотности в три раза почти не влияет на величину потребляемой мощности в условиях постоянной производительности. В целом, зависимости мощности от исследуемых величин можно отнести к линейному характеру.

Этих данных достаточно для расчета зависимости производительности и затрат мощности от изменения размеров агломератора, геометрии его рабочих органов и свойств перерабатываемого материала.

Таким образом, необходимо отметить одну из основных задач переработки полимерных отходов – организация их раздельного сбора, что позволит извлечь из твердых бытовых отходов (ТБО) гораздо больше полимерных материалов, пригодных к повторной переработке. Это, в свою очередь, позволит: исключить выделение вредных веществ в процессе естественного разложения или сжигания ТБО; уменьшить количество свалок; сэкономить природные ресурсы; создать новые рабочие места и др.

#### Литература

1. Осипова Т., Васильковский К. Пленки решили многие вопросы упаковки // Брутто. 2005. № 2. С. 11–14.
2. Бухкало С.И. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки // Интегровані технології та енергозбереження. 2005. № 2. С. 29–33.
3. Служба коротких повідомлень // Упаковка. 2005. № 5. С. 70–71.
4. Штарке Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. – Л.: Химия, 1987. – С. 176.
5. Богданов В.В., Торнер Р.В. и др. Смешение полимеров. – Л.: Химия, 1979. – С. 192.

УДК 678.073.002

Бухкало С.И.

#### МОЖЛИВОСТІ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ АГЛОМЕРУВАННІ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

У роботі запропоновано використання методів моделювання процесу агломерування полімерних відходів для агломераторів різних розмірів з метою вивчення механізмів взаємодії робочих органів апарату з матеріалом, який переробляють у конкретних умовах.